ISSN 0188-7297







Certificación ISO 9001:2008 ‡

Plataforma para el análisis y visualización de señales para el monitoreo remoto de estructuras

Saúl Enrique Crespo Sánchez
Jorge Alberto Hernández Figueroa
Francisco Carrión Viramontes
Juan Antonio Quintana Rodríguez
Daniel Rodríguez Naranjo
Héctor Miguel Gasca Zamora

Publicación Técnica No. 415
Sanfandila, Qro, 2014

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

Plataforma para el análisis y visualización de señales para el monitoreo remoto de estructuras

Publicación Técnica No. 415
Sanfandila, Qro, 2014

Esta investigación fue realizada en la Coordinación de Ingeniería Vehicular e Integridad Estructural del Instituto Mexicano del Transporte, por el M. C. Saúl Enrique Crespo Sánchez, el Ing. Jorge Alberto Hernández Figueroa, el Dr. Francisco Carrión Viramontes, el Dr. Juan Antonio Quintana Rodríguez, el M. C. Daniel Rodríguez Naranjo y el Lic. Héctor Miguel Gasca Zamora.

Se reconoce y agradece la participación del Dr. Miguel Martínez Madrid, Coordinador de Ingeniería Vehicular e Integridad Estructural del Instituto Mexicano del Transporte, por la revisión y las facilidades para la realización del presente trabajo.

Índice

Resumen

El monitoreo estructural tiene como objetivo principal verificar el comportamiento *in-situ* de una estructura, de manera precisa y eficiente, para evaluar su desempeño bajo distintas cargas de servicio, detectar daño o deterioro y determinar, así, su condición estructural. Los sistemas de monitoreo estructural deben ser capaces de proporcionar información confiable relacionada con la seguridad e integridad de una estructura. La eficiencia y la sensibilidad de estos sistemas pueden permitir verificaciones, a corto plazo, de diseños innovadores, detección temprana de problemas, evitar fallas catastróficas, lograr una asignación eficaz de los recursos y las reducciones de interrupciones en el servicio y costos de mantenimiento.

Los datos monitoreados pueden ser adquiridos manualmente, de manera semi-automático o automática, en el sitio o de manera remota, periódica o continua, y estática o dinámica. En cualquiera de estos casos, es fundamental la administración y el procesamiento de los datos ya que, en la mayoría de los casos, esto se convierte en un proceso engorroso y extenuante debido a la cantidad de datos y pre-procesamiento requeridos para extraer información valiosa. Como consecuencia, el desarrollo de una plataforma de software para gestionar y procesar la información de los sensores ópticos es vital para simplificar el acoplamiento y la integración de hardware con la información del post-proceso, tales como índices estructurales, gestión de alarmas, informes, entre otros.

Este informe presenta el desarrollo de software prototipo y los resultados en cuanto a la integración del hardware y software de sensores para la plataforma de sensores de fibra óptica, con las características para el almacenamiento, visualización y análisis de los datos registrados.

Abstract

The main goal of a structural health monitoring system is to verify, in-situ, accurately and efficiently the behavior of a structure to evaluate its performance under different service loads and to detect damage or deterioration, and from that, to discern on its structural condition. The structural monitoring systems must be able to give consistent information regarding safety and structural integrity; where the efficiency and sensitivity of these must be capable to allow verifications in a short time for innovative designs, early damage detection, prevent catastrophic failures, accomplish an effective apportionment of financial resources for maintenance and to reduce downtime and maintenance costs.

Monitoring data can be registered manually, semi-automatically or fully automatically, in site or remotely, intermittently or continuously, and for static or dynamic analysis. At any rate, key issues are data processing and administration, since in most cases, these become cumbersome and overwhelming due to the amount of data and pre-processing required for extracting valuable information. As a consequence, a software platform to manage and process the optical sensors information is vital to simplify the coupling and integration of hardware with the post-processed information, such as structural indexes, alarm management, reporting, among others.

This report presents the prototype software development and results regarding the integration of the sensors hardware and software for the fiber optics sensors platform, with features for storing, display and analysis of the recorded **data.**

Resumen ejecutivo

El monitoreo estructural tiene como objetivo principal verificar el comportamiento *in-situ* de una estructura de manera precisa y eficiente para evaluar su desempeño bajo distintas cargas de servicio, detectar deterioro y determinar su condición estructural.

Los sistemas de monitoreo estructural deben ser capaces de proporcionar información confiable relacionada con la seguridad e integridad de una estructura. Para alcanzar estos objetivos, se deben integrar diversos sub-sistemas, enfocados a medir, convertir, transmitir, controlar o registrar variables y analizarlas. Este proceso consiste en la adquisición de parámetros estructurales representativos de manera periódica o continua, los cuales dependen de múltiples factores, como el tipo y el propósito de la estructura, las cargas esperadas, los materiales de construcción, las condiciones ambientales y el fenómeno de degradación esperado.

Los datos monitoreados pueden ser adquiridos manualmente, de manera semi-automático o automática, en el sitio o de manera remota, periódica o continua, y estática o dinámica. En cualquiera de estos casos, es fundamental la administración avanzada de los datos, la cual consiste en la interpretación, visualización, análisis y uso de los datos (por ejemplo, generación de alarmas). Por ello, es fundamental integrar en una plataforma todas estas operaciones, las cuales permitirán avanzar en el monitoreo estructural de los sistemas a evaluar.

El presente trabajo muestra el primer desarrollo orientado a la integración de estas tecnologías en un software, el cual permite almacenar, visualizar y analizar la información recabada de los sistemas de monitoreo.

1 Antecedentes

La civiónica es una disciplina emergente que combina la ingeniería civil con la ingeniería electrónica. Su principal campo de acción es la aplicación de la electrónica al monitoreo estructural de obras civiles. El monitoreo estructural tiene como principal objetivo el verificar el comportamiento *in-situ* de una estructura de manera precisa y eficiente, esto para evaluar su desempeño bajo distintas cargas de servicio, para detectar daño o deterioro y, determinar así, su condición estructural. El proceso de monitoreo consiste en la adquisición de parámetros estructurales representativos de manera periódica o continua. Esta información es generalmente usada para diseñar y planear actividades de mantenimiento, incrementar la seguridad, verificar hipótesis y reducir incertidumbre concerniente a los sistemas estructurales.

El desarrollo de estructuras inteligentes y la conceptualización del área de monitoreo estructural en el campo de la ingeniería civil ha comenzado a ser más atractiva en las últimas décadas y ha recibido una creciente atención en el mundo, tanto en el campo de la investigación académica como aplicada. Las ideas básicas en este campo han derivado de aplicaciones realizadas en el campo de la ingeniería aeronáutica, la ingeniería aeroespacial y de la industria automotriz; no obstante, la migración de estas ideas a la industria de la construcción ha requerido, y aún requiere, del desarrollo de tecnologías específicas, el diseño de sistemas de monitoreo, sistemas de adquisición de datos y del análisis e interpretación de las mediciones, para la toma de decisiones (Glisic & Inaudi, 2007).

El monitoreo estructural tiene como objetivo principal verificar el comportamiento *in-situ* de una estructura de manera precisa y eficiente, para evaluar su desempeño bajo distintas cargas de servicio, detectar deterioro y, determinar así, su condición estructural. Los sistemas de monitoreo estructural deben ser capaces de proporcionar información confiable relacionada con la seguridad e integridad de una estructura. La eficiencia y la sensibilidad de los sistemas de monitoreo estructural pueden permitir verificaciones a corto plazo de diseños innovadores, detección temprana de problemas, evitar fallas catastróficas, lograr una asignación eficaz de los recursos y las reducciones de interrupciones en el servicio y costos de mantenimiento.

La herramienta de diagnóstico físico de los sistemas de monitoreo estructural es la integración completa de diversos dispositivos de detección y sistemas auxiliares, entre los que se encuentran:

- Sistema de Sensores.
- Sistema de Adquisición de Datos.
- Sistema de Procesamiento de Datos.
- Sistema de Comunicación.
- Sistemas de Detección de Daño y Modelado.

La integración de estos sistemas da lugar al uso de la instrumentación la cual permite medir, convertir, transmitir, controlar o registrar variables.

Como se mencionó anteriormente, este proceso consiste en la adquisición de parámetros estructurales representativos de manera periódica o continua, los cuales dependen de múltiples factores como el tipo y el propósito de la estructura, las cargas esperadas, los materiales de construcción, las condiciones ambientales y el fenómeno de degradación esperado. Por lo general, éstos pueden ser mecánicos, físicos o químicos. Los parámetros más frecuentes en monitoreo estructural pueden verse en la tabla 1.

Mecánicos	*Deformación, desplazamiento, apertura de grietas, esfuerzos, cargas.*
Físicos	*Temperatura, humedad, presión*
Químicos	*Penetración de cloruros, penetración de sulfatos, pH, corrosión del acero.*

Tabla 1. Parámetros frecuentemente monitoreados en los sistemas estructurales

El monitoreo puede ser desarrollado a nivel local o a nivel global. El monitoreo a nivel local proporciona información relacionada con el comportamiento local del material, brindando información reducida respecto al comportamiento global del sistema estructural; mientras que el monitoreo global del sistema provee mayor información de su comportamiento e indirectamente, a través de los cambios en el comportamiento estructural, puede obtenerse información respecto al comportamiento del material.

En términos generales, podría decirse que el proceso descrito incluye como actividades la selección de la estrategia de monitoreo, la instalación del sistema de monitoreo, el mantenimiento del sistema, la administración de los datos adquiridos y el planteamiento de la logística en caso de interrupciones en el sistema. En la

tabla 2, pueden observarse el conjunto de sub-actividades que podrían conformar el proceso de monitoreo estructural.

Para iniciar un proyecto de monitoreo estructural, es importante definir los objetivos de éste y con base en ello, establecer los parámetros a monitorear. Estos parámetros deben seleccionarse de forma que reflejen el comportamiento de la estructura y a su vez, se orienten en el cumplimiento de los objetivos del proyecto.
La selección del sistema de monitoreo depende, naturalmente, del objetivo del proyecto, los parámetros seleccionados, la precisión que se requiere, la frecuencia de lectura, la compatibilidad con el ambiente (sensibilidad a la interferencia electromagnética, variaciones de la temperatura, humedad, entre otros.) los procedimientos de instalación de los diversos componentes del sistema, las posibilidades de automatización, la conectividad remota, las formas de administración de los datos y los niveles en los que la estructura será monitoreada (local o global).

Estrategia de monitoreo	***Instalación del sistema de monitoreo***	***Mantenimiento del sistema***	***Administración de los datos***	***Otras actividades***
-Objetivo del monitoreo	-Instalación de sensores	-Proveer suministro eléctrico	-Ejecución de las mediciones	-Interrupción del monitoreo
-Selección de los parámetros a monitorear	-Instalación de accesorios (Cajas de conexión, cables, etc.)	-Proveer sistema de comunicación	-Almacenamiento de los datos	-Desmantelamiento del sistema de monitoreo
-Selección de los sistemas de monitoreo	-Instalación de equipos de lectura.	-Implementación de esquemas de mantenimiento para dispositivos	-Acceso a los datos	-Almacenamiento de los componentes del sistema
-Diseño de los canales de sensores	-Instalación de software	-Reparaciones y reemplazos	-Visualización de los datos	
-Programa de monitoreo	-Interface con los usuarios		-Análisis e interpretación de los datos	
-Plan de análisis de datos			-Uso de los datos	
-Costos				

Tabla 2. Actividades básicas del proceso de monitoreo estructural.
Fuente: Glisic & Inaudi, 2007

Con el fin de extraer la mayor cantidad de información del sistema planteado de acuerdo a las condiciones mencionadas, es necesario colocar los sensores en posiciones representativas sobre la estructura. Los canales de sensores a usarse para el monitoreo dependen de la geometría y el tipo de estructura a monitorear.

La instalación del sistema es una fase del proceso particularmente delicada, la cual debe ser planeada a detalle, considerando las condiciones del sitio donde se encuentra la estructura a instrumentar. Los componentes del sistema pueden ser embebidos o instalados sobre la superficie de la estructura adhiriendo los elementos de sujeción sobre ésta. Una vez instalado, se recomienda proteger el sistema, sobre todo si el monitoreo se realizará a lo largo de la construcción de la estructura.

Una vez instalado y puesto en marcha, los datos recabados del sistema deben ser administrados, esta administración puede ser básica o avanzada. La administración básica consiste en la ejecución de las mediciones (lecturas de los sensores), el almacenamiento de los datos (local o remoto) y el acceso a estos. Los datos monitoreados pueden ser adquiridos manualmente, de manera semi-automático o automática, en el sitio o de manera remota, periódica o continua, y estática o dinámica. Por otro lado, la administración avanzada de los datos consiste en la interpretación, visualización, análisis y uso de los datos (por ejemplo, generación de alarmas). Es de esperarse que la elección del tipo de administración de los datos esté en función de los objetivos del esquema planteado y de los alcances mismos del proyecto.

En México, la conservación de la infraestructura se ha convertido en un plan estratégico, en el cual la aplicación eficiente de los recursos financieros es un punto primordial, por lo que el Instituto Mexicano del Transporte propuso a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) la creación del Centro de Monitoreo de Puentes y Estructuras Inteligentes (CMPEI), el cual está orientado a la realización de monitoreo estructural en puentes y estructuras en general. El IMT, a través de su Centro de Monitoreo de Puentes y Estructuras Inteligentes (CMPEI) (Carrión, et.al., 2011), se ha dado a la tarea de realizar proyectos de monitoreo estructural con el fin de estudiar el comportamiento de diversas estructuras.

2 Introducción

El creciente desarrollo de infraestructura vial del país y el aumento en los flujos que circulan en ellas, han orillado a crear carreteras y puentes capaces de cumplir las necesidades de los ciudadanos para transportarse por zonas cada vez más irregulares y de condiciones especiales.

Uno de los elementos de infraestructura importantes en los planteamientos actuales, son los puentes especiales, los cuales son estructuras complejas que requieren de inversión inicial significativa y, por tanto, esquemas de mantenimiento adecuados y específicos, para lo cual resulta importante contar con sistemas que permitan monitorear estructuralmente estos sistemas durante su vida útil, permitiendo eficientar los programas de mantenimiento y extender su vida de servicio. El planteamiento de estos nuevos retos, involucra nuevas necesidades de desarrollo y optimización de los subsistemas que conforman los sistemas de monitoreo estructural. Parte esencial en esta tarea es el subsistema enfocado al análisis de la información recabada durante estas labores. Hoy en día existen sistemas tradicionales de sensores eléctricos y sistemas de sensores de fibra óptica. Los sensores ópticos (sensores FBG) y equipo de adquisición de datos ópticos (interrogadores) ofrecen ventajas únicas respecto a los sensores eléctricos convencionales. Los sensores eléctricos tienen como ventajas la gran variedad de aplicaciones, software y análisis ya desarrollado aunque particularmente tienen varias desventajas; por ejemplo, el uso continuo de electricidad para el funcionamiento, interferencias electromagnéticas, mantenimiento y re-calibración periódicos, estas características hacen difícil considerar el uso de estos sistemas debido a la localización remota de las estructuras las cuales no cuentan con ningún servicio. Aunado a esto, existen los sistemas de fibra óptica los cuales solo requieren una fuente de luz para su funcionamiento y un consumo de electricidad mínimo a comparación de los esquemas eléctricos.

Debido a lo anterior, resulta de vital importancia generar una plataforma para la integración de sistemas de sensores ópticos que facilite el acoplamiento de los diversos conjuntos de equipos y sus respuestas, como son almacenamiento de señales, gestión de alarmas, generación de reportes, entre otras características. Los sensores ópticos, sin embargo, tienen propiedades especiales fuera del alcance de un software tradicional ya que requieren atención, gestión y control.

La provisión de espectro óptico y de detección de pico espectral son dos ejemplos de este tipo de propiedades. Dentro de la arquitectura de estos sistemas, el hecho

de que los sensores tipo FBG pueden ser multiplexados en serie es una gran ventaja, no obstante requiere de un fuerte procesamiento de datos. Por lo que esta plataforma debe combinar las características tradicionalmente útiles de software del sensor convencional con las necesidades específicas del sistema de sensor óptico para crear una única herramienta de software para el integrador del sistema óptico del sensor.

Mediante el desarrollo de esta plataforma se espera realizar un análisis detallado de la información recabada en los sistemas de monitoreo estructural remoto de puentes y estructuras diversas, para una mejor comprensión del comportamiento de estos sistemas, robusteciendo así la capacidad de interpretación y entendimiento de este tipo de estructuras.

2.1 Tecnología FBG (*Fiber Bragg Grating*)

Uno de los tipos de sensores ópticos más usados y ampliamente desplegado es el *Fiber Bragg Grating* (FBG), el cual refleja una longitud de onda de luz que se transmite en respuesta a variaciones en temperatura y/o tensión. Los FBGs están hechos usando interferencia holográfica o una máscara de fase para exponer un tramo corto de fibra fotosensible a una distribución periódica de intensidad de luz. El índice refractivo de la fibra es alterado permanentemente de acuerdo a la intensidad de luz a la que es expuesto. La variación periódica que resulta en el índice refractivo se llama un FBG (*Fiber Bragg Grating*) (Carrión, et.al., 2011).

Cuando un rayo de luz de amplio espectro se envía a un FBG, las reflexiones de cada segmento, al alternar el índice refractivo, interfieren de un modo positivo para una longitud de onda específica de luz solamente, llamada la longitud de onda de Bragg, descrita en la ecuación (1) (Figura 1 y Figura 2). Esto provoca que el FBG refleje una frecuencia específica de luz al transmitir todos los demás. En definitiva es una línea de filtros ópticos (*Fundamentos de la Detección Óptica FBG*, 2010).

$$\lambda_b = 2n\Lambda$$

Ecuación 1. Ecuación de Bragg

En la ecuación (1), λb es la longitud de onda Bragg, n es el índice refractivo efectivo del núcleo de la fibra y Λ es la separación entre las redes, conocido como el periodo de red.

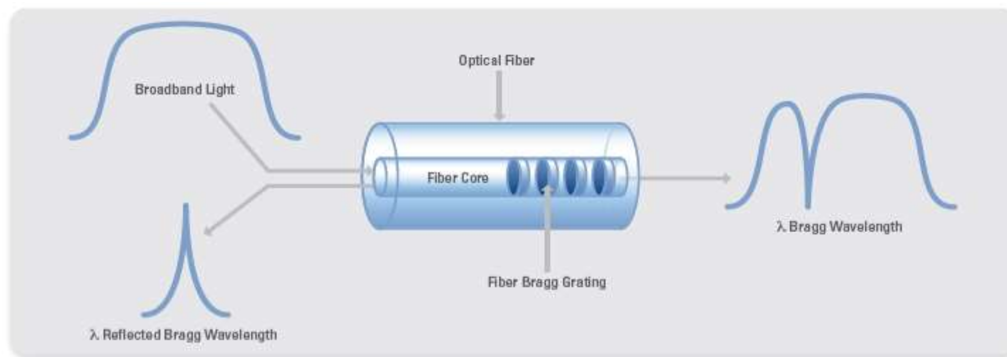


Figura 1. Operación de un Sensor Óptico FBG.
Fuente: *Fundamentos de la Detección Óptica FBG*, 2010.

Los FBGs pueden ser fabricados con varias longitudes de onda Bragg, lo cual permite a diferentes FBG´s reflejar longitudes de onda de luz únicas.

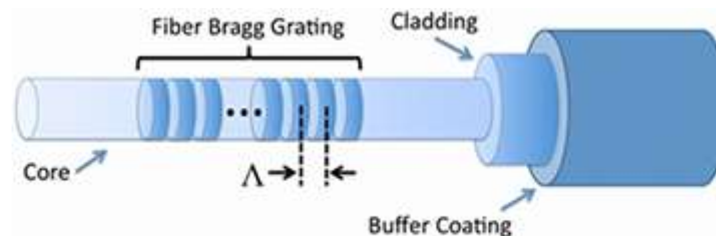


Figura 2. Una Vista Más Amplia de un FBG
Fuente: *Fundamentos de la Detección Óptica FBG*, 2010.

Los cambios en tensión y temperatura afectan el índice refractivo efectivo n y el periodo de red Λ de un FBG, lo cual resulta en un cambio en la longitud de onda reflejada.

Ya que un FBG responde a la tensión y la temperatura, se necesita obtener un reporte de ambos efectos y notar una diferencia entre los dos. Para detectar la temperatura, el FBG debe mantenerse libre. Se usan sensores de temperatura FBG empacados para asegurarse que el FBG dentro del paquete no está asociado con ninguna fuerza de flexión, tensión, compresión o torsión. El coeficiente de expansión del vidrio es prácticamente insignificante; por lo tanto, cambia en la longitud de onda reflejada debido a que la temperatura puede ser descrita por el cambio en el índice refractivo de la fibra.

Los sensores de tensión FBG son un poco más complejos porque la temperatura y la tensión afectan la longitud de onda del sensor reflejada. Para medidas de tensión adecuadas se debe compensar los efectos de la temperatura en el FBG. Esto se puede lograr al instalar un sensor de temperatura FBG en contacto térmico con el sensor de tensión FBG. Una simple resta del cambio de longitud de onda del sensor de temperatura FBG al cambio de longitud de onda del sensor de tensión FBG da como resultado un valor de tensión de temperatura compensada.

2.2 Acelerómetros tipo FBG

Para que un sensor FBG funcione como un acelerómetro, la aceleración debe ser acoplada a una carga mecánica sobre el sensor FBG. El diseño opto-mecánico del acelerómetro determina las características del sensor como rango de respuesta, frecuencia lineal, aceleración máxima y la sensibilidad del sensor (en términos de cambio de longitud de onda a la aceleración). Con el fin de obtener una comprensión más clara, se plantea el siguiente ejemplo: imagine que se tiene un simple modelo lineal de acelerómetro (masa-resorte) con FBG; considerando que el FBG actúa como el resorte unido a una masa (M), como se muestra en la Figura 3.

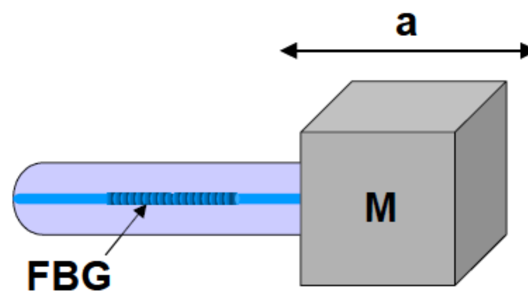


Figura 3. Esquemático de un diseño simple de acelerómetro FBG.
Fuente: Baldwin.

En este caso, la fibra óptica actúa como una muelle mecánica modificando la longitud de onda provocada por el movimiento de la masa afectando directamente sobre la FBG. La aceleración se mide por el sensor FBG como la fuerza resultante aplicada a la fibra óptica provocada por la masa debido al cambio de inercia.

Algunas de las ventajas de uso de esta tecnología en sensores estriban en su alta confiabilidad, su validación para aplicaciones en campo, su larga duración (20 años o más), su bajo costo y su alta precisión de largo.

2.3 Extensómetros tipo FBG

Un extensómetro FBG parte del principio de la variación de longitud de onda que viene dada por deformaciones y variaciones térmicas en la estructura. La figura 4 muestra el comportamiento del espectro de luz reflejado frente a las deformaciones que sufre el sensor. Aumentos en la longitud de onda reflejada por el sensor indican que el periodo de perturbación aumenta, es decir, que la superficie se deforma a tensión. Por el contrario, variaciones decrecientes en la longitud de onda reflejada por el sensor indican que el periodo de Bragg disminuye, es decir se deforma comprimiéndose. Por lo tanto, las deformaciones de la estructura se obtienen a partir de la variación de la longitud de onda.

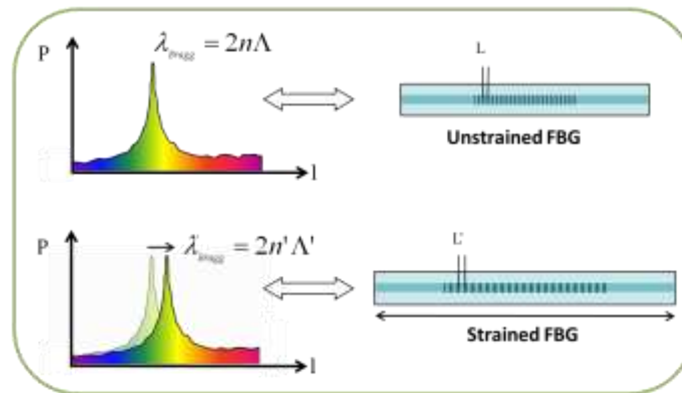


Figura 4. Esquemático de un extensómetro instalado con el espectro de variación de onda según las deformaciones.
Fuente: (*Fbg - Fiber Bragg Grating principle)*.

2.4 Sistema de monitoreo óptico

Un sistema de monitorización óptico está compuesto por los elementos siguientes (Figura 5):

a) La red o conjunto de sensores son los elementos encargados de medir los parámetros relevantes de la estructura a monitorear. Se instalan en los puntos de la estructura que se desee conocer información.

b) El sistema de proceso de datos, que suele ser un PC, es el encargado de transmitir, adquirir y almacenar los mismos.

c) La fuente óptica de luz es la encargada de transmitir las ondas de luz. Dependiendo de la fibra óptica utilizada en el sistema sensitivo se empleará como fuente óptica de luz:

    - Láser: Fuente suministradora de ondas de banda estrecha (luz formada por sólo una longitud de onda específica –luz monocromática-), para fibras ópticas que sólo propagan un modo de onda (fibras tipo monomodo).

    - LED (Light-Emitting Diode): Fuente suministradora de ondas de banda ancha (Luz formada por diferentes longitudes de onda –Luz policromática o luz blanca-), para fibras ópticas tipo multimodo.

d) El circulador permite el paso de la luz en un sentido, desde la fuente óptica hacia las estrellas pasivas. A su vez, impide que el espectro de luz reflejado llegue de nuevo a la fuente óptica y sea dirigido hacia el analizador de espectros ópticos (OSA, Optical Spectrum Analyzer).

e) El analizador de espectros ópticos (OSA, Optical Spectrum Analyzer) es el encargado de la obtención del espectro de luz y sus variaciones en el tiempo.

Actualmente, y debido a los avances que en los últimos años ha gozado el campo del censado óptico, la fuente óptica de luz, el circulador y el OSA se engloban en un único elemento que recibe el nombre de Interrogador. Este elemento es muy cómodo, fácil de transportar y de reducido tamaño.

Todos los componentes del sistema deben estar unidos al cable de fibra óptica, por lo que las fijaciones pueden ser de dos tipos:

- Fijaciones permanentes: Mediante métodos de fusión, entre otros.
- Fijaciones móviles, mediante conectores.

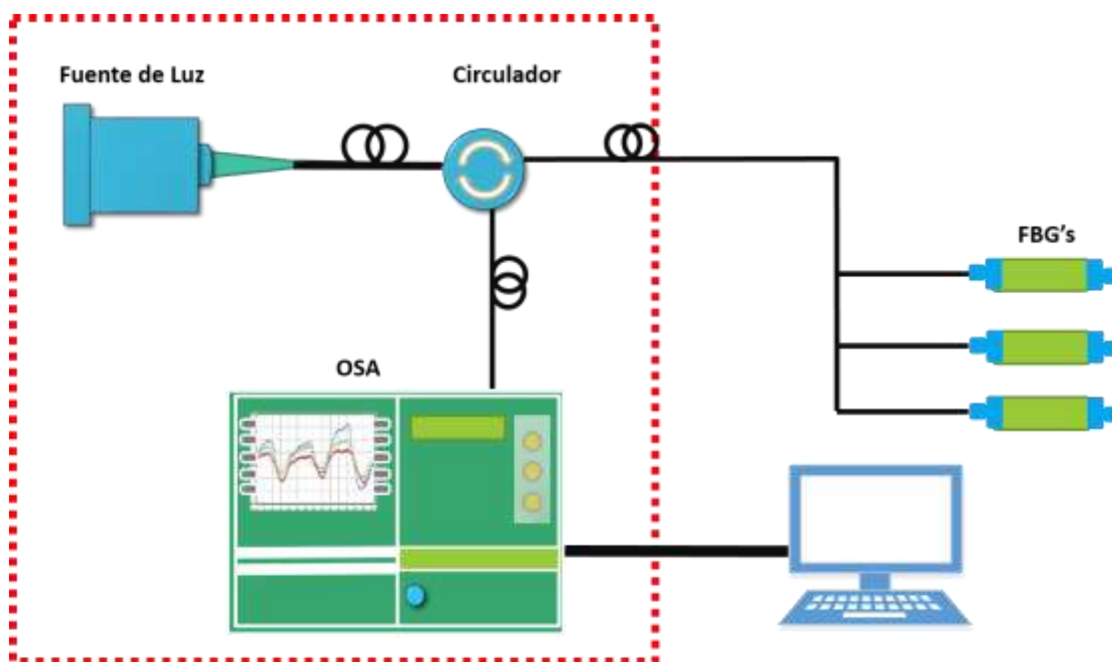


Figura 5. Elementos que forman un sistema de monitorización óptico basado en FBG. Fuente: Elaboración propia.

El diagrama general (instrumentación) de un sistema de monitorización óptico multiplexado se muestra en la figura 6. Este diagrama muestra una ejemplificación general de cómo se intercomunican los diferentes elementos y por cuál tipo de buses de información se transmite la información. La comunicación de los sensores de fibra óptica, el multiplexación y el interrogador se comunican por fibra óptica y el bus utilizado para la comunicación con el interrogador y el PC es por TCP/IP utilizando Ethernet.

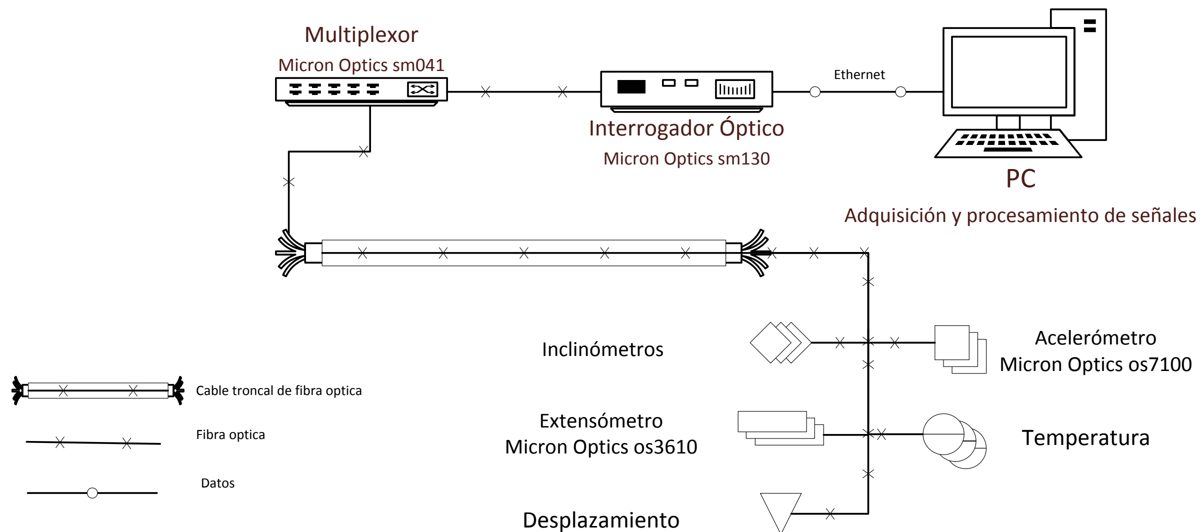


Figura 6. Sistema de monitorización óptico multiplexado.
Fuente: Elaboración propia.

2.5 Instrumentación virtual

Un instrumento virtual consiste de una computadora del tipo industrial, o una estación de trabajo, equipada con poderosos programas (software) y hardware, tales como placas para insertar y manejadores (drivers) que cumplen, en conjunto, las funciones de instrumentos tradicionales (La Instrumentación Virtual, 2005). Los instrumentos virtuales representan un apartamiento fundamental de los sistemas de instrumentación basados en el hardware a sistemas centrados en el software que aprovechan la potencia de cálculo, productividad, exhibición y capacidad de conexión de las populares computadoras de escritorio y estaciones de trabajo. Aunque la PC y la tecnología de circuitos integrados han experimentado avances significativos en las últimas dos décadas, es el software el que realmente provee la ventaja para construir sobre esta potente base de hardware para crear los instrumentos virtuales, proveyendo mejores maneras de innovar y de reducir los costos significativamente. Con los instrumentos virtuales, los ingenieros y científicos construyen sistemas de medición y automatización que se ajustan exactamente a sus necesidades (definidos por el usuario) en lugar de estar limitados por los instrumentos tradicionales de funciones fijas (definidos por el fabricante).

Cada instrumento virtual consiste de dos partes software y hardware. Un instrumento virtual similarmente tiene un precio accesible y muchas veces mucho menor que los instrumentos tradicionales similares para una tarea de medición actual. Sin embargo, los ahorros compuestos a través del tiempo, debido a la flexibilidad de instrumentos virtuales, son mucho más flexibles al cambiar tareas de medición.

Al no utilizar software y hardware preestablecido, ingenieros y científicos obtienen máxima flexibilidad definida por el usuario. Un instrumento tradicional proporciona tanto software como circuitos de medición empacados en un producto con lista finita o funcionalidad fija utilizando el instrumento del panel frontal. Un instrumento virtual proporciona todo el software y hardware necesario para lograr la medición o tarea de control. Aunado a un instrumento virtual, ingenieros y científicos pueden ajustar la adquisición, análisis, almacenamiento, unión, y funcionalidad de presentación usando software productivo y potente.

En la figura 7 se muestra el esquema de funcionamiento de un instrumento virtual. El cual consta de tres etapas: adquisición, análisis y visualización.

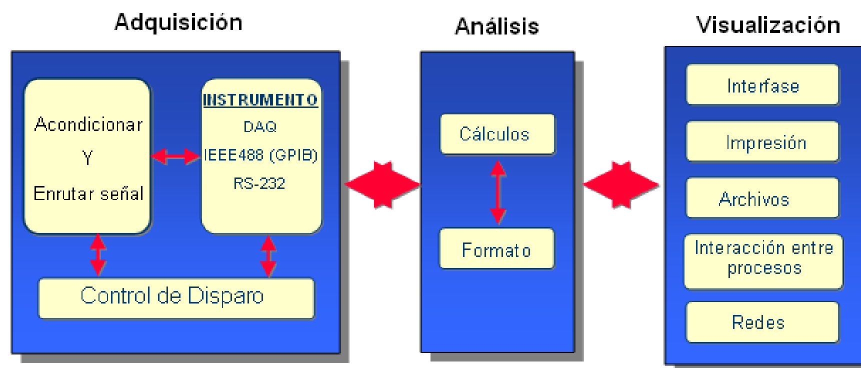


Figura 7. Esquema de funcionamiento de un instrumento virtual.
Fuente: (La Instrumentación Virtual, 2005).

La etapa de adquisición se puede realizar con diferentes dispositivos y tipos de comunicación, estos pueden ser: tarjetas de adquisición de datos, puerto serial, puerto paralelo, cámaras, comunicación TCP/IP, PLC y fibra óptica.
En la etapa de análisis se pueden realizar diferentes procesamientos de señales como: transformadas matemáticas, análisis estadístico, cálculo de tendencias, algoritmos de control clásico, algoritmos de control inteligente y cálculo de índices de desempeño.

En la última etapa de visualización se muestran en el monitor de la PC los datos adquiridos y procesados como: gráficas en el dominio del tiempo, gráficas en el dominio de la frecuencia, generación de alarmas, registro de datos históricos y envío de datos en redes.

Son muchos los programas que se utilizan para el diseño de instrumentos virtuales. Los programas más utilizados son: LabView (National Instrument, 2005), (la interface con el usuario se muestra en la figura 8), Matlab (la interface con el usuario se ilustra en la figura 9) y Scada (la interface con el usuario se puede observar en la figura 10).

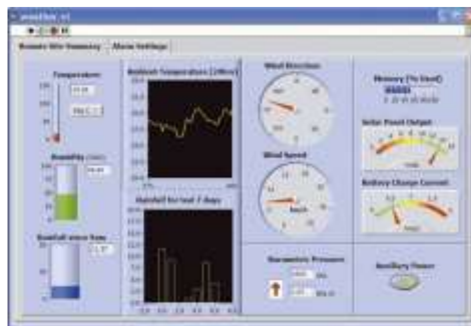


Figura 8. LabVIEW (**Lab**oratory **Vi**rtual **E**ngineering **W**orkbench).

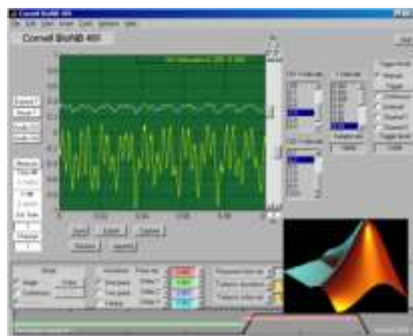


Figura 9. MATLAB (**MA**triz **LAB**oratory).



Figura 10. Plataformas SCADA (**S**upervisory **C**ontrol **A**nd **D**ata **A**dquisition).

2.6 Labview

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), es un poderoso y flexible software de análisis e instrumentación creado por National Instruments. Está basado en el lenguaje de programación gráfico G. LabVIEW utiliza una terminología familiar a científicos e ingenieros y los íconos gráficos usados para construir los programas en G son fácilmente identificados por inspección visual

Originalmente este programa estaba orientado a aplicaciones de control de instrumentos electrónicos usadas en el desarrollo de sistemas de instrumentación, lo que se le conoce como instrumentación virtual. Por este motivo los programas creados en LabVIEW se guardan en ficheros llamados VI y con la misma extensión, que significa instrumento virtual (Virtual Instrument).
También, relacionado con este concepto, se da nombre a sus dos ventanas principales: un instrumento real tendrá un Panel Frontal donde estarán sus botones, pantallas, entre otros, y una circuitería interna. En LabVIEW estas partes reciben el nombre de Panel Frontal y Diagrama de Bloques respectivamente.

LabVIEW es un software de desarrollo versátil para la adquisición de datos. Permitiendo desarrollar aplicaciones hechas a la medida para la manipulación e interpretación de información. Esta información comúnmente es adquirida por medios electrónicos, utilizando tarjetas de adquisición de datos que, a su vez, adquieren información proveniente de diferentes tipos de sensores (presión, deformación, temperatura, etc.), los cuales, en conjunto forman instrumentos virtuales desarrollados en LabVIEW (National Instrument, 2005).

3 Conexiones

Las conexiones para poner en marcha la plataforma de monitoreo estructural se muestran en la
Figura , en la cual se aprecian los dispositivos (Sensores, Multiplexor, Interrogador y PC) y su interacción. En la figura, el cableado amarillo, representa la fibra óptica que conecta los sensores con el multiplexor y el interrogador. Por otro lado, se marcan las 16 conexiones de los sub-canales para los sensores. Además, existe una conexión en verde que simboliza la conexión de comunicación Ethernet entre la PC y el interrogador, esta conexión sirve para transmitir todos los datos obtenidos de los sensores para poder registrarlos y analizarlos posteriormente. Aunado a esto se encuentran los cables de alimentación y comunicación de los equipos ópticos, que están marcados con gris y azul.

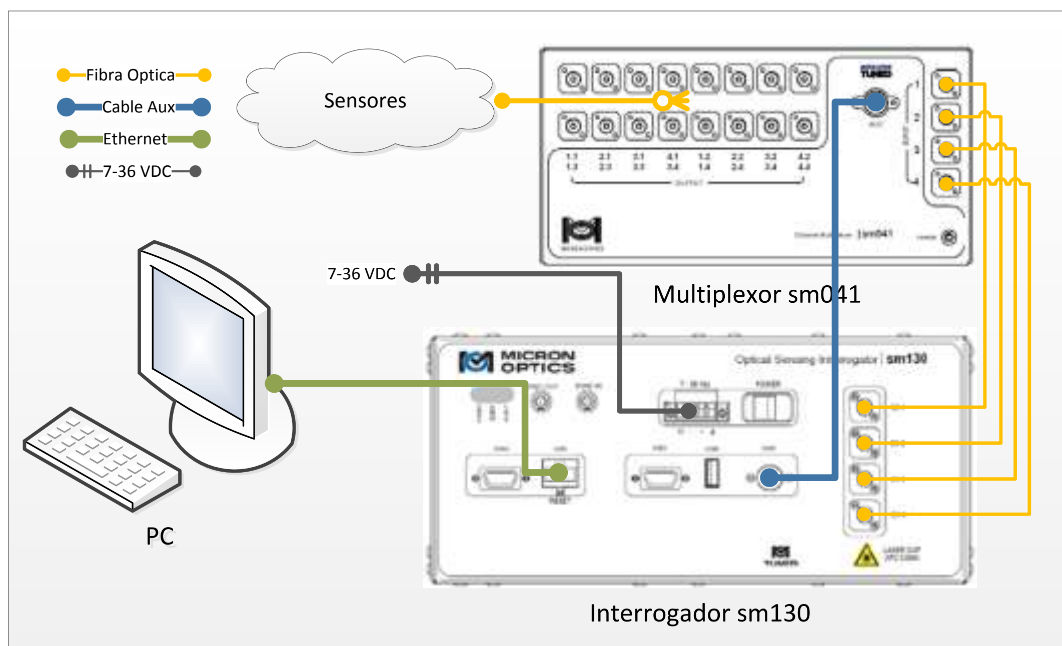


Figura 11. Conexiones de hardware para el monitoreo estructural

4 Desarrollo de software

La plataforma desarrollada consiste en la adquisición, registro y procesamiento de datos provenientes de los sensores FBG, los cuales están conectados a un interrogador que, a su vez, se conecta a una PC.
Para el desarrollo y funcionamiento del software “IMT-MONITOREM” existen diferentes dependencias para el diseño del mismo tales como el software y hardware involucrado en el sistema, como es el ambiente de desarrollo Labview. Las dependencias relacionadas se enlistan a continuación.

- Software requerido.

  - LabVIEW la plataforma de desarrollo, la cual cuenta con un lenguaje de programación gráfico, el cual está orientado para la integración de hardware y software, control, diseño simulado o real, pues acelera la productividad. El lenguaje que se usa en este entorno de programación se llama lenguaje G. Los programas desarrollados con LabVIEW se llaman Instrumentos Virtuales, o VIs, para lo cual permiten tener programación embebida, comunicaciones, matemáticas, control, análisis de señales, entre otros.
  - NI LabVIEW TCP/IP Connectivity Toolkit es un conjunto de herramientas que ayudan a enviar y recibir datos de forma fiable en una red (estas herramientas están integradas en LabVIEW). La parte TCP del nombre se refiere al protocolo de control de transmisión, en IP hace referencia al protocolo de internet.
  - NI LabVIEW Database Connectivity Toolkit es un juego de herramientas que se usan para conectar bases de datos e implementar varias operaciones comunes sin tener que realizar programación de lenguaje estructurado de preguntas (SQL). Permitiendo la conexión a bases de datos comunes, como Microsoft Access, SQL Server y Oracle.
  - Librerías OpenG es una colección de cientos de Vis, que reducen el tiempo de desarrollo y facilitan funciones avanzadas. Algunas áreas que cubre esta librería son: manipulación de arreglos, manipulación de cadenas, etcétera.
  - Base de datos (Access).

4.1 Descripción del software

El software inicia con una pantalla de seleccionar o crear proyecto (Figura 12). La cual permite cargar valores ya configurados anteriormente de una base de datos que almacena esta información (Nombre de proyecto, fecha, sensores, ganancias, dirección IP, nivel de multiplexación, entre otros.).



Figura 12. Menú inicial del software

El programa está dividido en cuatro secciones principales: adquisición, sensores, gráficas y configuraciones (Marcadas con azul en la Figura 13). En la sección de "Adquisición de señales" se pueden manipular las amplitudes y visualizar los sensores FBG detectados en cada uno de los canales (Sección marcada con verde en Figura 13). La sección "Vista de amplitudes", está subdividida en cuatro sub-secciones; en la sección amarilla se muestra la dirección IP a la que se conectó hacia el interrogador, control de selección de canales y modelo y número de serie del interrogador. En la sección de color rojo se manipulan las ganancias y niveles de umbral, así como indicadores de picos referentes a cada sensor FBG; en la sección de color gris y el gráfico sirven para visualizar los picos de los sensores y herramientas de visualización.



Figura 13. IMTOPTICS - Pantalla de Adquisición

Esta plataforma funciona con un protocolo de comunicación basado en TCP/IP el cual se puede implementar en LabVIEW; esta plataforma de software funciona a partir de una programación orientada a objetos, estos objetos pueden ser indicadores y controles, los cuales responden a eventos ya programados (máquina de estados). La estructura general de la plataforma se muestra a continuación:

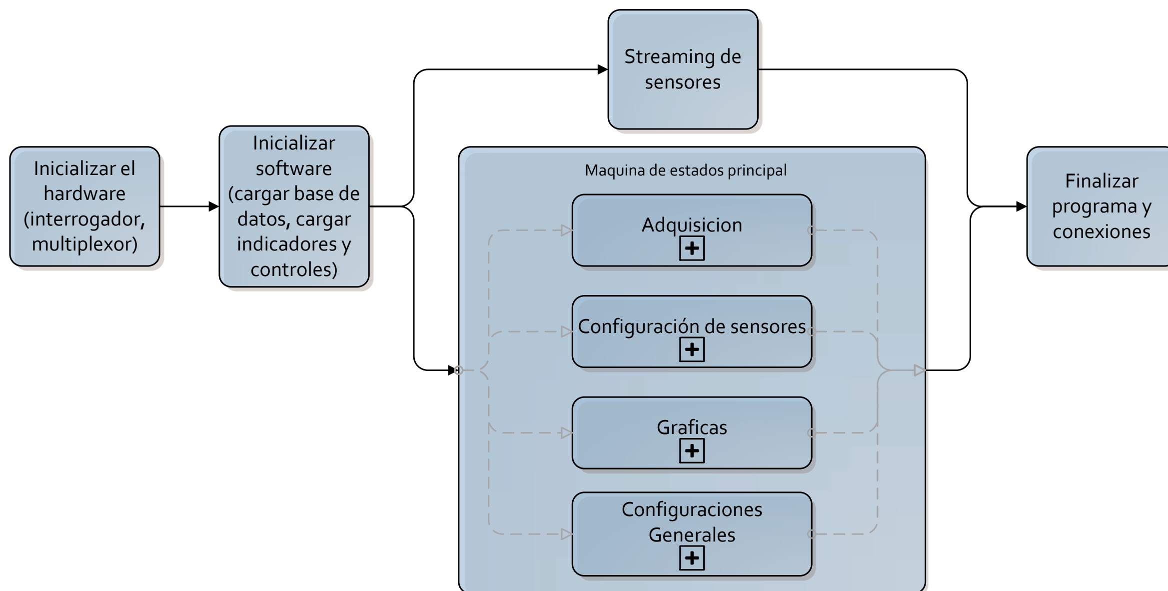


Figura 14. Esquema general del diseño del software

Una vez que el espectro se ha adquirido y configurado de manera adecuada en al apartado de Adquisición, las características de los picos espectrales resultantes están listos para su uso en la siguiente capa de procesamiento de datos: la pestaña Sensores.

La pestaña Sensores es la sección en donde los picos espectrales se asignan atributos y propiedades para identificarlos como sensores FBG. Esos elementos FBG resultantes pueden servir entonces como la base para los cálculos de orden superior (sensores calibrados). El apartado Sensores (Figura 15) se subdivide en dos secciones. La mitad superior de la etiqueta se encarga de la definición de los FBG’s, mientras que la parte inferior define los sensores calibrados.



Figura 15. Pestaña: Sensores

Una vez que los sensores han sido definidos, la primera de las pestañas de visualización de datos pueden ser utilizados. La ficha Gráficos (Figura 16) permite al usuario configurar de forma independiente hasta cuatro indicadores de gráfico, con cada gráfico se pueden visualizar datos de varios sensores del mismo tipo.



Figura 16. Pestaña: Gráficos

En la pestaña de almacenamiento (Figura 17), el programa tiene la función de configurar los parámetros básicos para el almacenamiento de los datos, teniendo como características de configuración la ruta de la carpeta donde se captura la información, el límite del tamaño del archivo en función del tiempo adquisición de los datos.

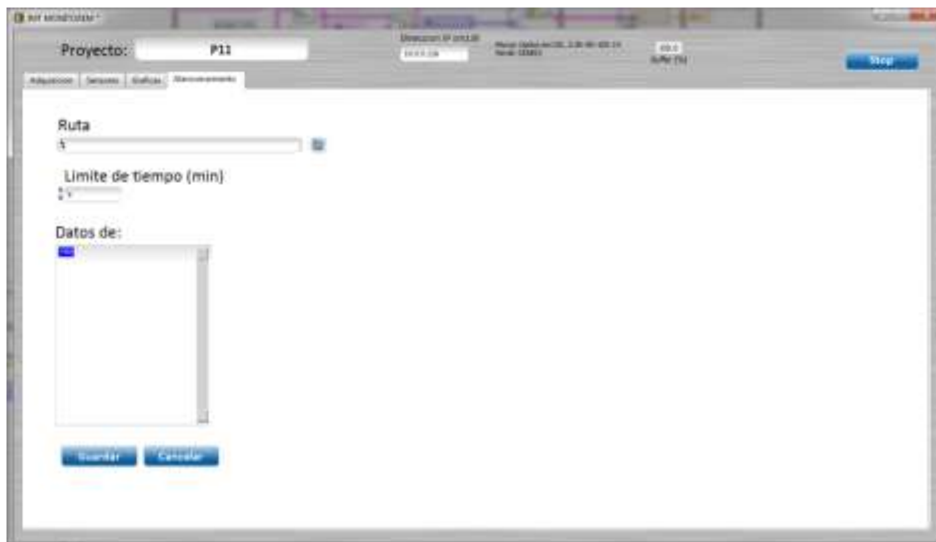


Figura 17. Pestaña: Almacenamiento

5 Conclusiones

El programa fue desarrollado para la adquisición de señales de diversos sensores de fibra óptica FBG, como acelerómetros, extensómetros, inclinómetros, sensores de temperatura y desplazamiento; no obstante, es adaptable a cualquier otro tipo de sensor que trabaje con este principio.

El software fue desarrollado en Labview y es posible su instalación en cualquier equipo con el debido licenciamiento. En el pueden configurarse diversos grupos de sensores por canales de acuerdo a la distribución de los mismos en el proyecto de instrumentación.

La plataforma permite analizar de manera eficiente la información adquirida en los sensores de los sistemas de monitoreo y visualizar los resultados de estos análisis para una mejor interpretación y entendimiento del comportamiento de las estructuras, la aplicación es 100% portable, ya que la adaptación en el código es nula o mínima.

6 Bibliografía

Branko Glisic and Daniel Inaudi. *Fibre Optic Methods for Structural Health Monitoring,* Ed. John Wiley & Sons. 2007.

Carrión F..J.; J..A. Viramontes; J. Quintana Rodríguez, Alfredo López López & J.L Moreno Jiménez. *Design and Strategy for the Monitoring Center for Bridges and Intelligent Structures of Mexico,* XXIVth World Road Congress. sept. 2011.

Chris Baldwin, Jack Niemczuk, Jason Kiddy, and Toni Salter. *Review of Fiber Optic Accelerometers,* Systems Planning & Analysis, Inc. Advanced Engineering Development Program 4865 Walden Lane, Lanham, MD 20706.

s.a. "*Fundamentos del Entorno de NI LabVIEW,*" National Instrument. 2005. [En línea]. Recuperado de : http://www.ni.com/gettingstarted/labviewbasics/esa/environment.htm

s.a. "*La Instrumentación Virtual,*" National Instrument. 2003. [En línea]. Recuperado de : http://www.tracnova.com/tracnova-pub/La%20Instrumentaci%F3n%20Virtual.pdf

s.a. *" Fundamentos de la Detección Óptica FBG*,". National Instrument. 15 Noviembre 2010 [En línea]. Recuperado de : http://sine.ni.com/nipdfgenerator/nipdfgenerator?pageURL=http://www.ni.com/whitepaper/11821/es&clientAppName=dz&dotsPerPixel=&dotsPerPoint=.

s.a. "*Fbg - Fiber Bragg Grating principle".*FBGS. [En línea]. Recuperado de : http://www.fbgs.com/technology/fbg-principle/

Apéndice A. Manual de usuario

1. Introducción.
1.1. Equipo.
    1.1.1. Instrumentos soportados.
    1.1.2. Sensores compatibles.
1.2. Dependencias y plug-ins.

2. Conceptos Generales.
2.1. Definición de elementos medidos.
2.2. Estructura.
    2.2.1. Frecuencia de adquisición.
    2.2.2. Controles globales.
    2.2.3. Estados de control.
    2.2.4. Indicadores de error.

3. Visión operativa general.
3.1. Inicializar el Software.
    3.1.1 Establecer comunicación con el interrogador.
3.2. Pestaña adquisición.
    3.2.1. Adquisición de Datos.
    3.2.2. Vista de espectro.
    3.2.3. Detección de pico.
    3.2.4. Vista de Tabla.
    3.2.5. Vista del gráfico.
    3.2.6. Multiplexación.
3.3. Pestaña Sensores.
    3.3.1. FBGs.
    3.3.2. Sensores.
    3.4. Pestaña Gráficos.
        3.4.3. Seleccionar sensores para la gráfica.

4. Almacenamiento de señales.

1. Introducción

En la actualidad es de suma importancia la preservación de las vías de comunicación para el transporte, por tal motivo se ha hecho uso de las técnicas y tecnologías emergentes para su conservación, entre las cuales se encuentra el monitoreo estructural, el cual tiene como principal objetivo verificar el comportamiento *in-situ* de una estructura de manera precisa y eficiente, para evaluar su desempeño bajo distintas cargas de servicio, detectar daño o deterioro, y determinar, así, su condición estructural.

El monitoreo estructural está basado en técnicas y tecnologías de instrumentación, como son el uso de acelerómetros, extensómetros, inclinómetros, termómetros, etc. Para la integración de estos instrumentos existen diferentes metodologías como son redes de sensores eléctricos, sensores inalámbricos, sistemas de fibra óptica, entre otros. Hoy en día los sistemas ópticos muestran muchas ventajas únicas respecto a los sensores eléctricos convencionales. Se ha desarrollado un paquete de software para facilitar la integración del sistema de sensor óptico y facilitar muchas de las características comunes que se necesitan en tales sistemas de medición. Algunas características son los límites del sensor y condiciones de alarma. Los sensores ópticos, sin embargo, tienen propiedades especiales fuera del alcance de software tradicional sensor que requieren atención, gestión y control. La provisión de espectro óptico y de detección de pico espectral son dos ejemplos de este tipo de propiedades. El hecho de que los sensores FBG pueden ser multiplexados en serie es una gran ventaja arquitectónica, pero presenta problemas de procesamiento de datos adicionales significativos.

El software provee esfuerzos para combinar las características, tradicionalmente útiles, de software del sensor convencional con las necesidades específicas del sistema de sensor óptico para crear una única herramienta de software para el integrador del sistema óptico del sensor.

1.1. Equipo

1.1.1. Instrumentos soportados

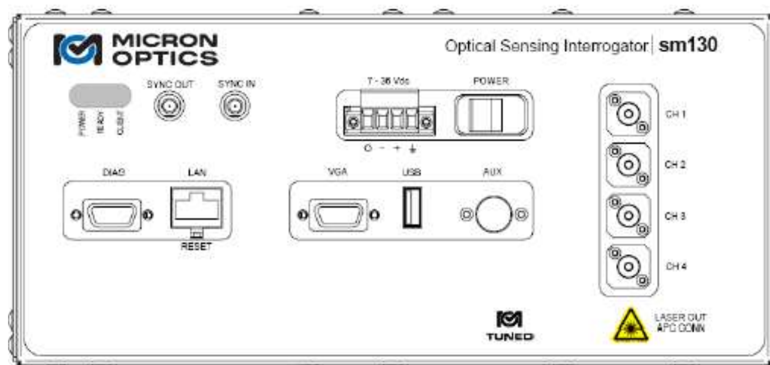
El sistema de monitoreo óptico cuenta, principalmente, con tres paquetes de elementos: interrogador, multiplexor y sensores. Aunque por sí solos estos tres elementos requieren de un software y una Pc para completar la plataforma. Para el correcto funcionamiento de la plataforma hay que considerar los diferentes dispositivos y conexiones a utilizar.

Interrogador MicronOptics sm130

El interrogador óptico sm3 se basa en la tecnología de medición basado en el barrido láser de longitud de onda, optimizado para la adquisición rápida de datos de muchos sensores FBG. Cuenta con cuatro canales para la lectura de sensores. Además, se centra en proporcionar mediciones con mayores tasas de adquisición, rango dinámico moderado y continuo. Asimismo, suelen ser los más adecuados para aplicaciones de medición "dinámicos" que requieren velocidades de adquisición de datos en cientos de miles de Hz. Este interrogador tiene una comunicación con los clientes (aplicaciones) por medio de comunicación TCP/IP, basada en un protocolo de comunicación de comandos y respuestas.



Interrogador óptico Micron Optics sm130



Vista frontal del interrogador sm130

Para el uso correcto de este interrogador es necesario conocer los puertos e indicadores que se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. Estos periféricos se enuncian a continuación.

-Led indicador de encendido (Power Led): Este indicador de color rojo significa que está energizado el modulo.

-Led indicador de disponibilidad (Ready Led): Este indicador de color verde, confirma que se ha terminado la inicialización de carga y que está listo para la comunicación TCP/IP.

-Led indicador de cliente (Client Led): Este indicador amarillo se ilumina cuando está abierta un canal de comunicación con una aplicación cliente.

-Puerto VGA: Este puerto puede ser usado para conectar un monitor, con propósito de diagnosticar y configurar.

-DIAG: Estrictamente no se usa.

-USB: Es usado para conectar un teclado USB para diagnosticar y configurar.

-Conector de alimentación (7-36 DC POWER): El SM130 está equipado con un bloque de conexión de alimentación de 4 terminales. Por lo tanto, es importante que se aplique el encendido en la secuencia apropiada:

1. Con el interruptor de Power en la posición Off.
2. Conectar el conector de energía en la fuente de poder.
3. Conecte el bloque de terminales en la parte frontal del interrogador.
4. Ajustar los tornillos (2).
5. Mover el interruptor de Power a la posición ON.

-LAN: El conector RJ45 es usado para la comunicación Ethernet.

-AUX: Este puerto es un conector DIN de 8 pines que se utiliza para conectar accesorios al SM130, incluyendo el módulo de expansión de canal sm041 disponible.

-CH1 – CH4 FC/APC: Hasta cuatro conectores ópticos se encuentran en el panel frontal del SM130. Se utilizan únicamente FC/APC jumpers para conectar a los conectores del panel FC/APC delanteros.

-SYNC IN: El conector SMA utiliza para señales de disparo de entrada, para la sincronización entre múltiples adquisiciones sm130s desencadenantes o adquisiciones SM130 de señal de sincronización externa.

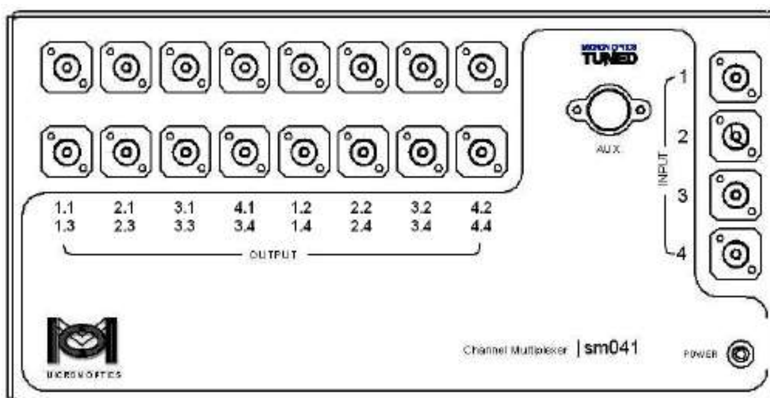
-SYNC OUT: El conector SMA utiliza para la señal de sincronización de salida, útil para sincronizar adquisiciones entre varios de SM130 o desencadenar equipo de adquisición de datos externo.

Multiplexor sm041

Los multiplexores sm041 emplean una red de conmutadores ópticos o componentes de acoplamiento pasivas y se usan para expandir la distribución física o espectral de las mediciones del sensor. Los módulos de conmutación del sm041 tienen como características: alta velocidad, detectores de estado sólido, conmutadores ópticos que proporcionan años de funcionalidad de conmutación óptica fiable y duradero. Expanden 4 canales en paralelo a 8 o 16 sub-canales.



Multiplexor óptico Micron Optics sm041



Vista frontal del multiplexor sm041

Para el uso correcto del multiplexor es necesario conocer los puertos e indicadores que se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. Estos periféricos se enuncian a continuación.

-Led indicador de encendido (Power Led): Este indicador de color rojo significa que está energizado el módulo.

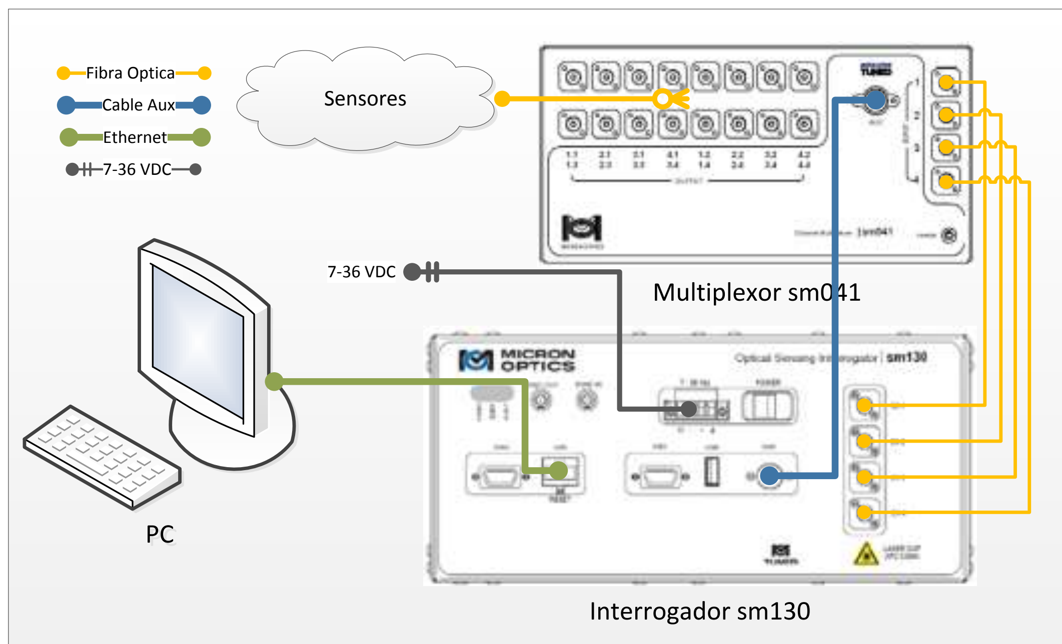
-AUX: Este puerto es usado para conectar el módulo sm041 al interrogador para alimentar eléctricamente y controlar las señales del multiplexor.

-INPUT (1-4): Estos conectores FP/APC de entrada óptica deben ser cableados a los cuatro conectores ópticos del panel frontal del interrogador.

-OUTPUT (1.1-4.4): Estos conectores de salida óptica FP/APC deben ser cableados directamente a los sensores ópticos.

Las conexiones correctas para poner en marcha la plataforma de monitoreo estructural se muestran en la figura en la cual se aprecian los dispositivos ya descritos con anterioridad en este capítulo.

Las conexiones amarillas representan fibra óptica que, para el caso de la conexión el interrogador y multiplexor, se conectan los canales a multiplexar, si es el caso; además de que se marcan las 16 conexiones de los sub-canales para los sensores. Además, existe una conexión en verde que simboliza la conexión de comunicación Ethernet entre la PC y el interrogador, esta conexión sirve para transmitir todos los datos obtenidos de los sensores para poder registrarlos y analizarlos posteriormente en el software. Aunado a esto se encuentran los cables de alimentación y comunicación de los equipos ópticos, que están marcados con gris y azul.



Conexiones de hardware para el monitoreo estructural

1.1.2. Sensores compatibles

El software ha sido diseñado para ser compatible con todos los sensores compatibles con la tecnología FBG.

1.2. Dependencias y plug-ins

- LabVIEW es la plataforma de desarrollo que cuenta con un lenguaje de programación gráfico. Este lenguaje está orientado para la integración de hardware y software, control, diseño simulado o real, pues acelera la productividad. El lenguaje que se usa en este entorno de programación se llama lenguaje G. Los programas desarrollados con LabVIEW se llaman Instrumentos Virtuales, o VIs, para lo cual permiten tener programación embebida, comunicaciones, matemáticas, control, análisis de señales, entre otros.
- NI LabVIEW TCP/IP Connectivity Toolkit es un conjunto de herramientas que ayudan a enviar y recibir datos de forma fiable en una red (estas herramientas están integradas en LabVIEW). La parte TCP del nombre se refiere al protocolo de control de transmisión, en IP hace referencia al protocolo de internet.
- NI LabVIEW Database Connectivity Toolkit es un juego de herramientas que se usan para conectar bases de datos e implementar varias operaciones comunes sin tener que realizar programación de lenguaje estructurado de preguntas (SQL). Permitiendo la conexión a bases de datos comunes, como Microsoft Access, SQL Server y Oracle.
- Librerías OpenG es una colección de cientos de Vis, las cuales reducen el tiempo de desarrollo y facilitan funciones avanzadas. Algunas áreas que cubre esta librería son: manipulación de arreglos, manipulación de cadenas, etcétera.
- Base de datos (Access).
- NI LabVIEW Run-Time Engine 2010

2. Conceptos Generales

2.1. Definición de elementos medidos

Es necesario definir ciertos conceptos generales para ofrecer un contexto general de la terminología utilizada en el documento. Cada término tiene un significado específico y conjunto de atributos asociados que se aplican en el contexto del software. A continuación se definen alguno de éstos para dar mayor claridad.

-**Espectro de picos**. Como se define en el contexto de IMT MONITOREM, "picos" o "espectro de picos" se refieren a la longitud de onda de salida directa de la detección de pico del espectro óptico. En el caso del interrogador sm130, los picos son la salida directa de la circuitería interna de la detección de hardware de picos. Los únicos atributos que posee un pico son su longitud de onda y amplitud de la corriente.

-**FBG** . Los sensores FBG son similares a los picos espectrales en que poseen atributos de longitud de onda óptica y de amplitud, pero se han mejorado con varios otros parámetros operativos.

En el software, FBGs llevan consigo los siguientes conceptos adicionales:

1) una gama de longitud de onda máxima y mínima longitud de onda de medición es posible, o, rango de longitud de onda;

2) promedios de las señales FBG, y

3) la ubicación física u óptica con relación al interrogador. Cada una de estas características se explicará con más detalle en las secciones siguientes de este documento.

Por ahora, es suficiente para reconocer que estas propiedades se atribuyen a nivel de FBG y no a los picos espectrales.

-**Sensores**. Un sensor puede ser definido por una combinación matemática de una o más FBG, obteniéndose un valor de salida calibrado de las cantidades de medición deseadas, tales como la temperatura, la presión o tensión.

Dentro de la definición del sensor, se encuentra implícitamente los conceptos de expresión y sub-expresión, estos elementos son definiciones o ecuaciones matemáticas de las cantidades que representan la magnitud del sensor. Las expresiones del sensor se pueden calcular a partir de las funciones FBG, sub-expresiones, constantes y otros valores de los sensores.

2.2. Estructura

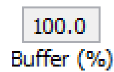
A continuación se describirá la estructura del software y la introducción de las principales herramientas para controlar y hacer uso del software. Los dos elementos principales de interés son herramientas de control global y la estructura de pestañas que se adopta en el software, que en conjunto definen el funcionamiento del software.



La figura anterior muestra una captura de pantalla completa del software, con la pestaña de Adquisición seleccionada. Teniendo en cuenta que una gran parte de la pantalla del software se controla con una estructura de pestañas. Este control de pestañas muestra solamente las características y herramientas del software con base en la pestaña seleccionada. Además de que también se encuentran varios controles e indicadores que están ubicados fuera de esta estructura de pestañas. Estos controles son visibles en la interfaz gráfica de usuario

independiente del estado de control de pestañas. En la siguiente sección se detallará estas características.

2.2.1. Indicador de buffer de adquisición:



El indicador de buffer de adquisición (arriba a la derecha) muestra el porcentaje de adquisición del interrogador en la que el software está recogiendo datos.

2.2.2. Controles globales:



La mayoría de los controles e indicadores del software están contenidos dentro de la pestaña de control principal. Este control de ficha regula el flujo de comportamiento del software (adquisición de datos, acondicionamiento, gráficas y la acción subsiguiente). Los detalles de cada pestaña se tratarán en secciones posteriores de este documento.

2.2.3. Estados de los controles:

Existen tres estados para los controles e indicadores, los cuales es necesario conocer para el uso adecuado del software. Los tres estados son los siguientes:

a) Activado 
El control anterior está en el estado "activado". Se muestra el fondo del botón en un color amarillo para dar una percepción de que el botón está siendo presionado.

b) Apagado 
El control que se muestra se encuentra en un estado "Apagado". El fondo del botón se muestra en color gris denotando que el botón no está presionado.

c) Inhabilitado 
El control anterior está inhabilitado y no tiene función alguna. Toda la figura del icono aparece en tonos grises. Un control o indicador en este estado no es accesible y no se puede utilizar.

2.2.4. Indicadores de error

A todo lo largo de la interfaz del software el color rojo se ha reservado para indicar alarmas, advertencias o errores. Cualquier fondo, icono, etiqueta o indicador que se encuentre en color rojo se debe dar una atención inmediata.

3. Visión operativa general

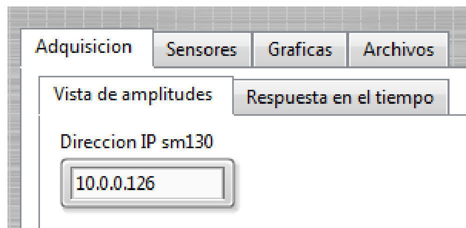
Esta sección tiene como objetivo describir el funcionamiento del software. La primera parte se enfocará a la conexión inicial al interrogador. Las secciones centrales detallarán el funcionamiento de las pestañas funcionales del software. En la última sección se explicarán los detalles de los distintos formatos de almacenamiento de datos.

3.1. Inicializar el Software

El software inicia con una pantalla de seleccionar o crear proyecto. Ésta permite cargar valores ya configurados anteriormente en una base de datos, la cual almacena varios parámetros (Nombre de proyecto, fecha, sensores, ganancias, dirección IP, nivel de multiplexación, etc.).

3.1.1 Establecer comunicación con el interrogador.

Después de haber creado o inicializado un proyecto es necesario introducir la IP del interrogador, por default se tiene la dirección 10.0.0.126 aunque se puede modificar, teniendo en cuenta que se necesita reiniciar el software.



3.2. Pestaña adquisición

Una vez que se establece una conexión, la interfaz de usuario por default es la pestaña Adquisición. Esta primera pestaña es la parte del software en donde se establecen todas las configuraciones de hardware de nivel básico. La pestaña de adquisición es para configurar y confirmar que los componentes ópticos FBG se han conectado de manera efectiva al interrogador y que la información espectral se recoge con éxito por el sistema. El objetivo final de la pestaña de adquisición es para producir una salida estable y repetible de los picos espectrales que representan los sensores FBG a medir. Una vez que los picos se han sondeado con éxito desde el módulo, las pestañas posteriores agregarán valor y significado a estas mediciones en bruto. En la pestaña Adquisición se encuentran muchas herramientas para ayudar en la optimización de la adquisición de datos de los FBG.

3.2.1. Adquisición de Datos

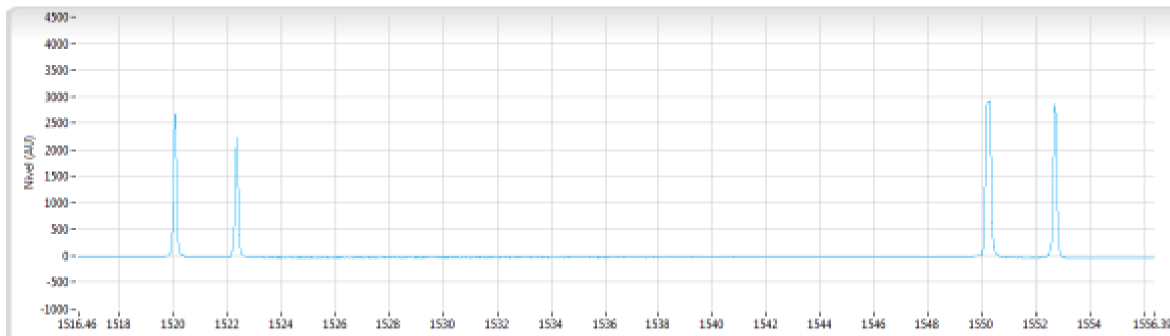
En la parte superior dentro de la pestaña de Adquisición, hay varios controles que permiten el manejo del estado de conexión al interrogador. Estos controles se describen en esta sección.

a) Nivel de multiplexación. 

El control de nivel de multiplexación configura la interfaz de usuario y todos los ajustes correspondiente para su uso con un multiplexor óptico.

3.2.2. Vista de espectro

En la pestaña Adquisición, hay tres modos que el usuario puede elegir con el fin de visualizar los datos recogidos desde el interrogador. El primero de estos puntos de vista es “Vista de Amplitudes”. En esta sección, se recogen datos del interrogador y se muestra en un gráfico XY.



Para esta sección existen varios controles que ayudan a tener una mejor interpretación del espectro óptico.

a) Zoom X y Y

   Permite zoom independiente o simultáneo de los ejes X e Y de la gráfica del espectro óptico.

b) Restablecer Zoom
   Al activar esta herramienta se reestablece el Zoom por default en el gráfico

3.2.3. Detección de pico

Canal 1
Ganancia (dB): 1
Nivel: 300
Picos: 0 0 0 0

Este grupo de controles se utiliza para definir los parámetros de detección de pico para un interrogador sm30, donde la detección de picos se lleva a cabo dentro del hardware del interrogador. El número resultante de picos detectados para el canal aparece en el indicador “Picos” que se muestra en la imagen. Para le detección de picos es necesario configurar varios parámetros:

a) Ganancia (dB):

Este parámetro ajusta la ganancia del receptor del interrogador con una precisión de 0,1 dB, entre un mínimo de 0 dB hasta un máximo de 20 dB. La ganancia también se puede ajustar en valores negativos hasta -30 dB, lo que permite al usuario minimizar los ajustes de ganancia para la flexibilidad adicional del sistema.

b) Nivel de umbral:

Este parámetro establece un umbral por debajo del cual el hardware interno de todas las señales se ignoran para efectos de detección de picos.

3.2.4. Vista de Tabla

Para acceder a la vista tabla, es necesario cambiar de pestaña de Respuesta en el tiempo que a su vez se selecciona vista tabla.

Adquisicion | Sensores | Graficas | Almacenamiento

Vista de amplitudes | Respuesta en el tiempo

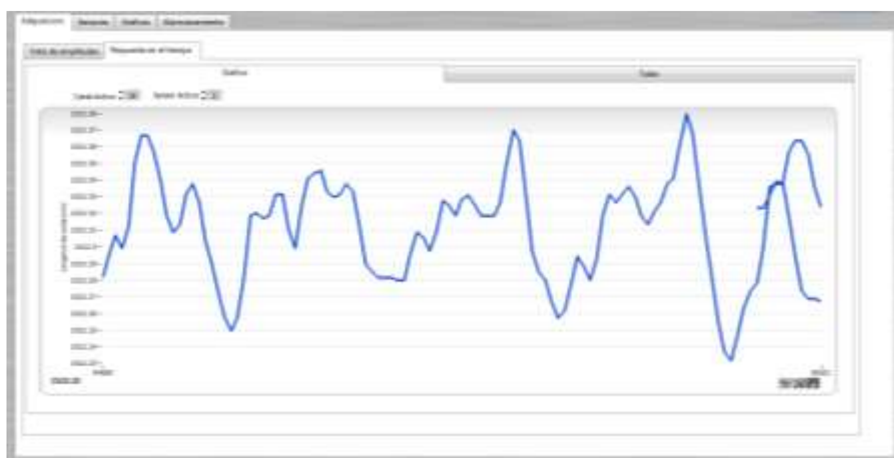
Grafica | Table

	Canal 3	Canal 5	Canal 6	Canal 7	Canal 8	Canal 9	Canal 10	Canal 11	Canal 12	Canal 13	Canal 14	Canal 15	Canal 16
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1520.016244
2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1522.308768
3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1550.238338
4	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1552.608004

La tabla de picos espectrales muestra la longitud de onda en nanómetros para todos los picos espectrales detectados por el interrogador organizándolas por canales o sub-canes según el nivel de multiplexación.

3.2.5. Vista gráfica de respuesta en el tiempo.

Para cambiar a la vista grafica de la respuesta en el tiempo de cada uno de los picos espectrales detectados basta con seleccionar la pestaña "Respuesta en el tiempo" y después "Grafica".



La vista grafica de espectro óptico muestra el valor de longitud de onda de un pico espectral en función del tiempo. Se tiene un control de "Canal Activo" y control "Sensor Activo" para lo cual se utiliza para seleccionar el pico espectral que se graficará.

3.2.6. Multiplexación

La capacidad de medición de un interrogador sm130 es de cuatro canales, pero se puede ampliar mediante el uso de un módulo multiplexor óptico. Ya sea montada como un conjunto de módulos (es decir, un interrogador de detección óptica sm130 con un multiplexor de canal sm041), la multiplexación se puede utilizar para ampliar la capacidad de medición del sistema.

Para activar la multiplexación:



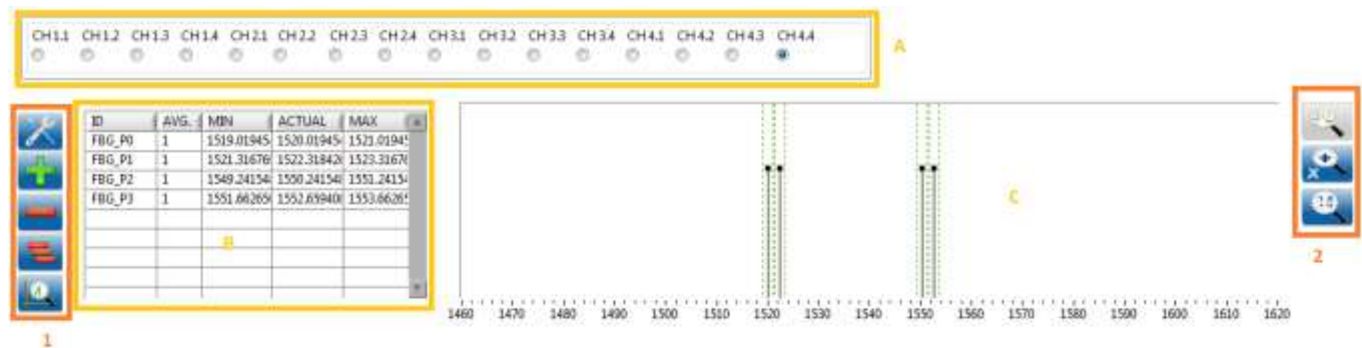
El control "Nivel de Multiplexación" ajusta el nivel del multiplexor para el interrogador, haciendo que la unidad para enviar señales de control al multiplexor y comenzar las mediciones en el sistema de multiplexado.
El ajuste Mux nivel puede ser cambiado en cualquier punto de la medición con MOI ENLIGHT. El Nivel Mux actúa como un multiplicador para el número de canales recibidos. Por ejemplo, una unidad de cuatro canales con un nivel Mux de 4 se puede configurar para medir 16 subcanales. Varias características de la ficha Adquisición cambiarán en respuesta a la Mux Setting. En los próximos artículos se resumen esos cambios.

3.3. Pestaña Sensores

Una vez que el espectro se ha adquirido y configurado de manera adecuada en el apartado de Adquisición, las características de los picos espectrales resultantes están listos para su uso en la siguiente capa de procesamiento de datos: la pestaña Sensores.

La pestaña Sensores es la sección en donde los picos espectrales se asignan atributos y propiedades para identificarlos como sensores FBG. Esos elementos FBG resultantes pueden servir entonces como la base para los cálculos de orden superior (sensores calibrados). El apartado Sensores se subdivide en dos secciones. La mitad superior de la etiqueta se encarga de la definición de los FBG’s, mientras que la parte inferior define los sensores calibrados.

3.3.1. FBGs



En la figura anterior se muestra la interfaz de definición de sensores FBG, la cual cuenta con diferentes herramientas:

A) Controles de selección de canal. Los sensores FBG’s se definen y gestionan en función de cada canal. Los Controles de canales permiten al usuario seleccionar un solo canal para el que se pueden visualizar y administrar FBG’s dentro de ese canal.

B) La tabla resume los atributos de los FBGs existentes para el canal seleccionado. Los elementos que conforman la tabla son:

i. Identificación del sensor FBG (ID): Esta variable de identificación se asocia con un FBG en el momento de su creación, por lo que las expresiones de los sensores posteriores pueden usar esta variable en las expresiones matemáticas. IDs se asignan automáticamente a los elementos creados FBG, pero se pueden personalizar. Nombres de identificación de variables FBG pueden ser cualquier valor alfanumérico único. Nombres estrictamente numéricos no pueden ser utilizados, ya que confunden el analizador de expresiones.

ii. AVG: Es el número de promedios que se aplicará a la señal del sensor FBG.

iii. Mínimo: La longitud de onda más baja especificada por el usuario que un FBG debe ser capaz de alcanzar más de las condiciones de funcionamiento definidas. Esta longitud de onda representa el límite inferior del valor de la longitud de onda del FBG. Si una longitud de onda de FBG se mueve más allá del límite establecido, el valor de FBG es ignorado y omitido en la tabla FBG y todos los cálculos relacionados con éste.

iv. Current: La medición actual de la longitud de onda.

v. Máxima: La longitud de onda más alta especificada por el usuario que una FBG debe ser capaz de alcanzar más las condiciones de funcionamiento definidos del sensor en el que se ha montado. Esta longitud de onda representa el límite superior del valor de la longitud de onda medido en un FBG. Si una longitud de onda de FBG se mueve más allá del límite definido, el valor del FBG es ignorado y omitido en la tabla FBG y todos los cálculos relacionados con éste.

Controles de la sección "Sensores FBG", los controles de la Zona 1 sirven para agregar, editar y eliminar sensores FBG.

- Botón de "Edicion FBG".



Este botón al activarse y haber seleccionado previamente un sensor de la tabla lanza una ventana emergente en la cual se pueden manipular los parámetros de dicho sensores FBG.

- "Agregar sensor FBG".



Crea un nuevo Sensor FBG que se encuentre dentro del canal seleccionado lanzando una ventana emergente para asignar los parámetros de configuración.

- "Eliminar sensor FBG".



Elimina el sensor FBG seleccionado.

- "Eliminar todos los sensores FBG".



Elimina todos los sensores del canal o sub-canal seleccionado.

- "Agregar Sensores Automáticamente".

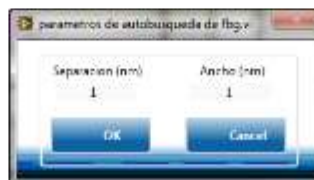


Este control crea automáticamente un conjunto de sensores FBG de los canales seleccionados. El número de FBG's creados será igual al número de picos encontrados en el espectro en la sección de Adquisición. Los límites máximo y mínimo se definen automáticamente. Los ID de los FBG se generan también de forma automática, permitiendo modificar posteriormente por el usuario en la ventana de Edición.

Al inicializar este proceso el software lanza una venta donde se seleccionan los canales donde se generaran automáticamente los parámetros de los sensores FBG, esto se hace en la ventana de selección de canal. Cuando el sistema está multiplexado, los controles también se escalan automáticamente (como se muestra en la figura).



Una vez seleccionados los canales deseados, aparece una nueva ventana emergente en la que se definen dos parámetros: la separación entre FBG, y el ancho de trabajo. A partir de éstos se calcularán el rango de operación (máximo y mínimo) de cada FBG.



- Agregar o editar FBG's.

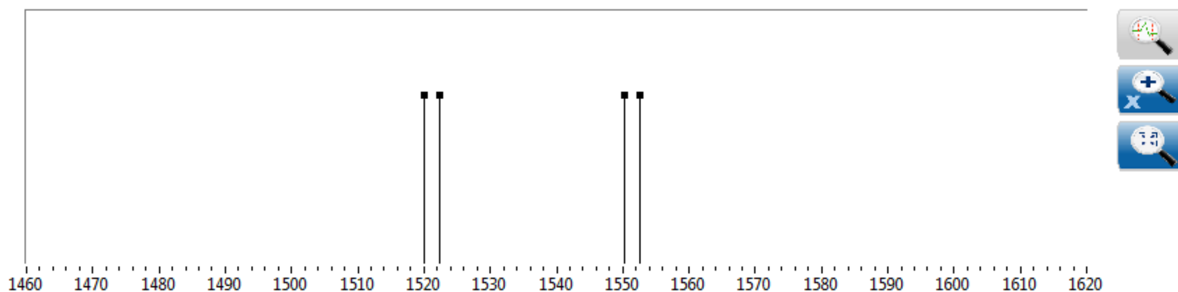


Esta herramienta ayuda a configurar o modificar los atributos de los FBG's. Esta ventana se muestra al dar clic sobre los botones "Agregar FBG" o "Editar FBG".

Adicionalmente a los controles que representan los parámetros ID, Mínimo, Máximo y promedios existen otros controles:

- Botón "Auto". Este control asigna automáticamente un ID al FBG seleccionado.
- Actual: Este indicador muestra el valor actual registrado en el FBG.

C) Muestra la gráfica de visualización de los sensores FBG, mostrando sus niveles y parámetros de rango (mínimo y máximo usando cursores punteados). Cada FBG está representado por una línea vertical con un indicador cuadrado en la punta. En el eje X se muestra la posición del FBG de la longitud de onda en nm.



- Controles. Los siguientes controles son herramientas para la gráfica de visualización de los FBG.

  - Zoom X

    Permite hacer zoom a lo largo del eje x.

  - Mostrar límites

    Activa o desactiva en la gráfica de manera punteada los límites de trabajo de los FBG

  - Restaurar Zoom
    Restablece el zoom de la gráfica a las escalas originales.

3.3.2. Sensores

La mitad inferior de la pestaña Sensores está diseñada con las herramientas necesarias para crear y gestionar sensores calibrados.

La tabla Sensores resume los atributos de los sensores existentes para el sistema de medición.
Un sensor individual puede seleccionarse haciendo clic sobre la fila que le corresponde. Los parámetros de los informes de tabla para cada sensor son como sigue:

i. ID: El ID del sensor se utilizará para identificarlo, pueden ser cualquier valor alfanumérico sin espacios. No pueden existir IDs numéricos ya que confunden el analizador de expresiones.
ii. Unidades: Muestra las unidades que se corresponden con el tipo de medición para cada uno de los sensores definidos.

iii. Temperatura relativa: Muestra el rango de temperatura relativa en la que el sensor puede funcionar.
iv. Rango Mínimo: Muestra el valor mínimo de medida definida para el sensor
v. Alarma Mínimo: Muestra el límite mínimo de alarma para el sensor, tal como se define por el usuario.
vi. Valor Actual: Muestra el valor actual medido para el sensor.
vii. Alarma Máximo: Muestra el límite máximo de alarma para el sensor, tal como se define por el usuario.
viii. Rango Máximo: Muestra el valor mínimo de medida definida para el sensor
ix. Descripción: Muestra una breve descripción del sensor que se define por el usuario.

a) Botones y herramientas para la sección de sensores:

- Editar sensor.

  Abre una ventana la cual contiene un formulario para gestionar los atributos del sensor.

- Agregar Sensor.

  Crea un nuevo elemento sensor y lanza una ventana con un formulario de entrada de datos para que el usuario pueda escribir los atributos de ese nuevo sensor.

- Borrar Sensor.

  Elimina el sensor seleccionado.

- Borrar todos los sensores.

  Elimina todos los sensores.

- Activar o desactivar sensores. 

  Activa o desactiva las banderas del sensor. "Activa", calificando de esta manera para función de alertas. Un sensor activo también se indica mediante el nombre del ID en color azul. Un sensor inactivo se indica con el texto del ID en gris.

- Sensor a cero. 

  Se reinicializa los valores a cero del sensor.

b) Agregar o editar sensores.

Este ventana de diálogo Editar Sensor es un formulario de entrada de datos que se utiliza para establecer y/o modificar los atributos del elemento sensor seleccionado. Esta forma se puso en marcha mediante el uso de los botones "Editar Sensor” y "Agregar Sensor".

a. Rango: Esta sección del formulario de entrada de datos muestra los valores mínimos y máximos calculados para el sensor.
    i. Mínimo: Muestra el valor mínimo calculado del rango para el sensor seleccionado.
    ii. Máximo: Muestra el valor máximo calculado para el sensor seleccionado.
    iii. Actual: Muestra el valor actual del sensor seleccionado.

b. Parámetros: Los parámetros del sensor (ID, Temperatura relativa, Rango Mínimo/Máximo, Alarma Min/Max) que se ajusta con el formulario de entrada de datos del sensor se definieron en la explicación de la tabla de los sensores. Los atributos de sensores adicionales gestionados por el formulario de entrada de datos incluyen:

    i. Activo. Activo
    Un sensor se declara como "Activo" para efectos de presentación en la tabla Sensores y gestión de alertas.

    ii. Promedios. # Promedios 1
    Establece el número de promedios que se aplicará a un sensor en particular. Se puede utilizar en combinación para lograr el grado deseado de reducción de ruido y el tiempo de respuesta que es óptima para cada aplicación.

    iii. Grupo. Grupo Grupo 1
    Permite al usuario asignar el sensor seleccionado a uno de los diez grupos de sensores predefinidos independientes. Además de organizar y simplificar la visualización de la tabla de Sensores.

    iv. Tipo. Tipo Deformacion
    Asigna el tipo de sensor definido (tensión, temperatura, presión, aceleración, desplazamiento, longitud de onda y la personalizada) además de asignar las unidades predeterminadas asociadas para ese tipo de sensor.

v. Constantes.

La tabla Constantes permite al usuario definir los nombres y valores para las constantes que se utilizan en las expresiones de los sensores y las sub-expresiones. Las constantes definidas para un sensor son exclusivas de ese sensor y no pueden ser referenciados por otros sensores o sus expresiones.

Para agregar una constante, el usuario debe introducir un nombre en el cuadro de entrada de datos en la columna Nombre de la tabla Constantes e introduzca un valor en el cuadro de entrada de datos en la columna Valor de la tabla Constantes, a continuación, debe hacer clic en el botón Actualizar.

Para editar o eliminar una constante, el usuario primero hace clic en la tabla para resaltar una línea y, a continuación, utiliza la actualización o el botón Eliminar para completar la acción.

vi. Expresión.

La expresión del sensor se utiliza para calcular un nuevo valor (lo más probable una cantidad física tales como la temperatura, deformación, inclinación, etc) de una combinación de uno o más de FBG, sub-expresiones, y/u otros sensores.
ID de FBG y otros identificadores de sensor se puede utilizar como variables en la expresión. Algunas partes de la expresión pueden ser agrupados para indicar cómo debe realizarse el cálculo utilizando paréntesis (), corchetes [] o entre llaves {}.

Las expresiones también pueden hacer referencia a otros sensores para formar nuevos sensores.

1. Funciones soportadas por el analizador de expresiones:
   Los siguientes operadores aritméticos son compatibles: '+ ', '- ', ' x ', '/ ', ' ^'.
   Los siguientes operadores booleanos son compatibles: '<' , '> ', ' =', '& ', ' |', ' < >' , '> =', '< =' '!' .
   Cuerdas concatenación es compatible con los siguientes operadores: '+', ' &'.
   Las siguientes funciones también están disponibles:

   abs (x). Devuelve el valor absoluto de x.
   acos (x). Calcula el coseno inverso de x.
   acosh (x). Calcula el coseno hiperbólico inverso de x en radianes.
   asin (x). Calcula el seno inverso de x en radianes.
   asinh (x). Sine calcula el seno hiperbólico inverso de x en radianes.
   atan (x). Calcula la tangente inversa de x en radianes.
   atanh (x). Calcula la tangente hiperbólica inversa de x en radianes.
   ci (x). Calcula el coseno integral de x donde x es cualquier número real.
   ceil (x). Redondea x al siguiente más alto número entero.
   cos (x). Calcula el coseno de x en radianes.
   cosh (x). Calcula el coseno hiperbólico de x en radianes.
   cot (x) Calcula la cotangente cotangente de x en radianes (1 / tan (x).
   csc (x). Calcula la cosecante de x en radianes (1 / sin (x).
   exp (x). Calcula el valor de e elevado a la potencia x.
   floor (x). Redondea a -Infinity trunca x al número entero inmediatamente inferior. getexp (x). Devuelve el exponente de x.
   getman (x). Devuelve la mantisa de x.
   int (x). Ronda su argumento al entero más cercano.
   ln (x). Calcula el logaritmo natural de x (con base e).

lnpl (x). Calcula el logaritmo natural de (x + 1).
log (x). Calcula el logaritmo de x (con base 10).
log2 (x). Calcula el logaritmo de x (a la base 2).
pi (x) Representa el valor π = 3.14159 ...
pi (x) = x * π, pi (1) = π, pi (2.4) = 2.4 * π
rand. Produce un número de coma flotante entre 0 y 1.
sec (x). Calcula la secante secante de x (1 / cos (x).
sin (x) Calcula el seno de x en radianes.
sinc (x) Calcula el seno de x dividido por x en radianes (sin (x) / x).
senh (x) Calcula el seno hiperbólico de x en radianes.
sqrt (x) Calcula la raíz cuadrada de x.

vii. Sub-expresiones. Son expresiones matemáticas que se utilizan por la expresión principal de sensor para calcular la cantidad deseada.

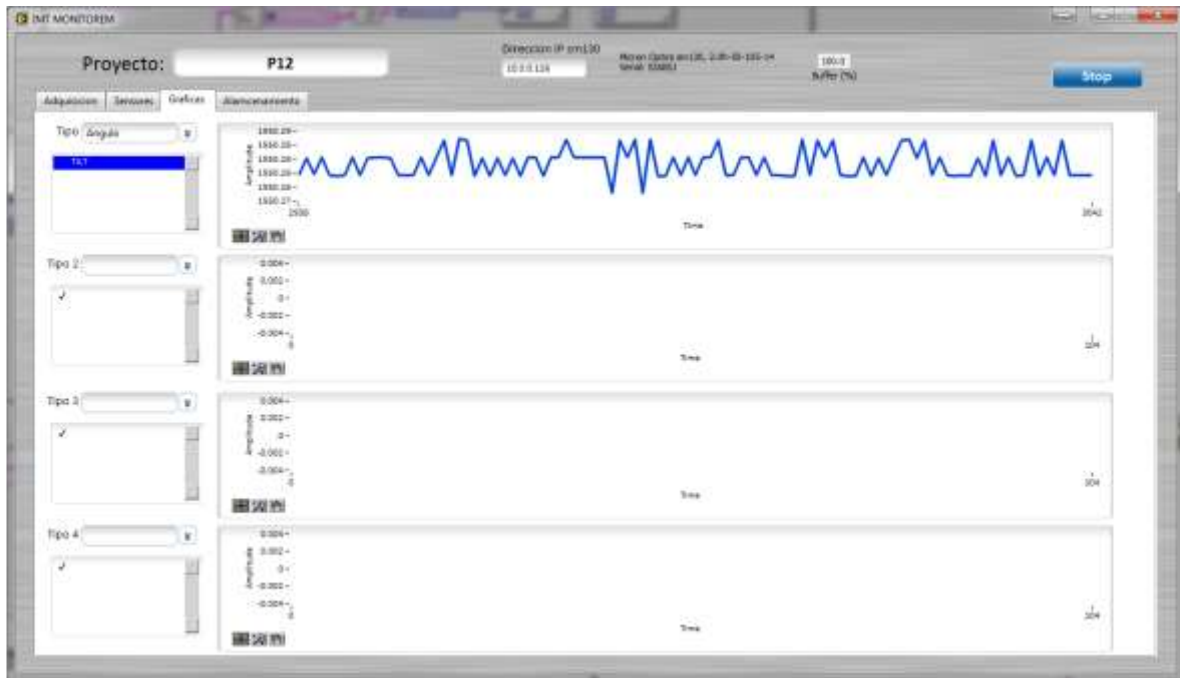
Sub-Expresiones

ID	Expresion	Compesacion
		Ninguna
		Ninguna
		Ninguna

- ID: El ID de la sub-expresión se utilizará como referencia en la expresión sensor que opera en él. IDs pueden ser cualquier alfanumérico único sin espacios.
- Expresión: La expresión se utiliza para calcular una cantidad basada en los valores de FBG u otros elementos matemáticos.

3.4. Pestaña Gráficos

Una vez que los sensores han sido definidos, la primera de las pestañas de visualización de datos pueden ser utilizados. La ficha Gráficos permite al usuario configurar de forma independiente hasta cuatro indicadores de gráfico. Con cada gráfico se pueden tomar datos de varios sensores del mismo tipo.



3.4.1. Seleccionar sensores para la gráfica

Para la selección de sensores a visualizar en cada una de las cuatro gráficas el usuario debe utilizar la herramienta selección de sensores.

Grupo Grupo 1
Tipo Deformacion
Sensores

a) Selección de grupo. Grupo Grupo 1

   Sirve para seleccionar un grupo de sensores preestablecido anteriormente. Los cuales se desplegarán en la lista Sensores.

b) Tipo. Tipo Deformacion

Filtra por tipo de sensor para mostrar posteriormente en la lista de sensores.

c) Sensores. Sensores

Muestra los sensores a seleccionar, haciendo doble clic en el nombre y ser visualizados en el gráfico (Se marca con una paloma los sensores seleccionados).

4. Almacenamiento de señales

En este apartado se configuran los parámetros para el almacenamiento continuo de señales, como son la ruta donde se almacenan, la duración de grabación de cada archivo y los sensores a capturar.

Adquisicion | Sensores | Graficas | Almacenamiento

Ruta

Grabando

Limite de tiempo (min)

Datos de:

Guardar

a) Ruta. Ruta C:\Users\Monitoreo\Documents\IMT MONITOREM\Configuraciones\

Localización del directorio donde se almacenaran los archivos en formato *.txt. Por default es \User\Documents\IMT MONITOREM\Configuraciones\Data

Los archivos tienen la siguiente estructura de tabla:

|Tiempo|Sensor1|Sensor2|Sensor3|…|SensorN|

El nombre del de cada archivo está definido por la hora del sistema teniendo el siguiente formato:

“Nombre del Proyecto”.AAAAMMDDhhmmss.txt

Limite de tiempo (min)

b) Límite de tiempo. 5

Representa el tiempo de grabación de cada archivo y el tamaño depende de la cantidad de sensores a registrar.

Datos de:

c) Sensores a registrar.

Este control sirve para seleccionar los sensores a almacenar.

d) Guardar Guardar

Para activar la grabación solo es necesario activar el botón “Guardar”, esto iniciará el almacenamiento de datos y desactivará todas las opciones de configuración y alta de sensores.

Grabando Grabando

e) Indicador de almacenamiento.

Este indicador se muestra en color azul cuando al almacenamiento de datos está activo y gris cuando no está registrando nada.

CIUDAD DE MÉXICO
Av. Nuevo León 210
Col. Hipódromo Condesa
CP 06100, México, D F
Tel +52 (55) 52 653600
Fax +52 (55) 52 653600

SANFANDILA
Carretera Querétaro-Galindo km 12+000
CP 76700, Sanfandila
Pedro Escobedo, Querétaro, México
Tel +52 (442) 216 9777
Fax +52 (442) 216 9671





www.imt.mx
publicaciones@imt.mx